

高強度材料を用いた鉄骨鉄筋コンクリート柱の力学的性状に関する研究

著者	宮内 靖昌
号	2012
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/10819

氏名	みやうち やすよし	宮内 靖昌
授与学位	博士(工学)	
学位授与年月日	平成14年2月13日	
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第2項	
最終学歴	昭和57年3月	
	大阪工業大学 大学院 工学研究科 建築学専攻 修士課程 修了	
学位論文題目	高強度材料を用いた鉄骨鉄筋コンクリート柱の力学性状に関する研究	
論文審査委員	主査 東北大学教授 山口育雄	東北大学教授 山田大彦
	東北大学教授 井上範夫	東北大学助教授 前田匡樹

論文内容要旨

本論文は、高強度のコンクリート（設計基準強度 $F_c=63 \text{ N/mm}^2$ ）、鉄骨（引張強度 $\sigma_u=590 \text{ N/mm}^2$ ）、主筋（SD490）および帯筋（降伏点強度 $\sigma_y=785, 1275 \text{ N/mm}^2$ ）を用いた鉄骨鉄筋コンクリート構造（以下、SRC）柱の力学性状を実験的に検討し、それぞれの材料を高強度化したことにより SRC 柱の力学性状がどのような影響を受けるかを明確にしたものである。さらに、剛性、ひび割れ荷重、終局曲げ耐力、終局せん断耐力および変形性能の評価法を検討し、復元力特性のモデル化について提案を行い、高強度材料を用いた SRC 造建物の構造設計における技術資料を提供したものである。

本論文は、6 章から構成されている。

第 1 章では、研究の目的、既往の研究、本論文に関連した発表論文リストおよび本論文中において用いた記号リストを示した。第 2 章では高強度材料を用いた SRC 柱の中心圧縮性状に関する実験結果を、第 3 章では曲げ破壊性状に関する実験結果を、第 4 章ではせん断破壊性状に関する実験結果を示し、各章でそれぞれの終局耐力について検討した。第 5 章では、SRC 柱の復元力特性のモデル化について検討した。第 6 章では、本論文の結論および今後の課題を述べた。

また、付録として、実験結果の考察において用いた計算式、参考文献、筆者が発表した本論文以外の研究内容に関する発表論文リストおよび本論文において実施した試験体リストを示した。

本論文において実施した実験は、SRC 柱の中心圧縮実験（試験体数 25 体）、曲げ破壊実験（41 体）およびせん断破壊実験（43 体）であり、試験体総数は 109 体である。試験体の柱断面は正方形であり、一辺を 250mm および 350mm とし、約 1/3～1/2.5 程度のスケールである。試験体に使用したコンクリートは粗骨材の最大径が 10mm～15mm の豆砂利を用いた普通コンクリートであり、シリカフェームなどの混和材は使用していない。主な実験変数としては、材料強度、帯筋比、軸力比、鉄骨の形状およびせん断スパン比である。

試験体の構造諸元の範囲は以下のようである。

(1) コンクリートの圧縮強度 σ_B	: 25.5~72.7 N/mm ²
(2) 鉄骨断面積比 P_s	: 3.57%~4.28% (H形鋼), 4.09%~8.51% (十字形)
(3) 引張鉄筋比 P_t	: 0.47%~0.74%
(4) 帯筋比 P_w	: 0.31%~0.73%
(5) 帯筋量 $P_w \cdot w \sigma_y$: 0.92~9.77 N/mm ²
(6) 軸力比 n	: 0.3, 0.5, 0.7
(7) せん断スパン比 M/QD	: 1.2, 1.8, 3.6

以下に、第1章から第6章までの内容を説明し、結論の概要を示す。

第1章 序論

本章では、研究の背景と目的について述べた。鉄筋コンクリート構造、鉄骨鉄筋コンクリート構造およびコンクリート充填鋼管構造などコンクリート系建物のより高層化、大スパン化あるいは部材断面の縮小化を目的として、使用材料の高強度化が図られている。本論文は高強度材料を用いたSRC柱の力学性状を検討したものであり、本論文の実験結果の一部は、2001年1月に改訂された日本建築学会SRC規準に取り入れられている。

第2章 中心圧縮性状

本章では、SRC柱の中心圧縮性状について示した。高強度のコンクリートおよび鉄骨を用いると、中心圧縮耐力は増大した。帯筋比はそのまま、普通強度（例えば、SD295）の帯筋を高強度の帯筋に変えると最大耐力後の耐力低下を小さくできるが、コンクリートの圧縮強度が高強度になるほどその効果は小さくなった。また、帯筋比と帯筋の降伏点強度の積 $P_w \cdot w \sigma_y$ （以下、帯筋量と称す）を大きくしても、中心圧縮耐力は増大しなかった。高強度材料を用いたSRC柱の終局圧縮耐力は、鉄骨、主筋および低減係数を考慮したコンクリートの各耐力を累加して計算できることを明らかにした。さらに、SRC柱の圧縮耐力から鉄骨および主筋の負担分を除き、コンクリートの負担する圧縮力－ひずみ度関係を示した。帯筋および十字形鉄骨による横拘束状態を考慮して、コンクリート部分を無拘束部（かぶりコンクリート）、帯筋拘束部および鉄骨拘束部の3つの領域に分けた。そして、コンクリートの負担する圧縮応力度の検討結果から、3つの領域それぞれの最大耐力時および軸ひずみ度3%時の圧縮応力度を、コンクリート圧縮強度、帯筋量および鉄骨量を変数として求める式を導き、コンクリートの応力度－ひずみ度曲線モデルを提案した。なお、このモデルは第3章における平面保持を仮定した曲げ解析に用いた。

第3章 曲げ破壊性状

本章では、SRC柱の曲げ破壊性状について示した。高強度のコンクリート、鉄骨および主筋を用いると、最大曲げ耐力は増大した。高強度材料を用いたSRC柱の終局曲げ耐力を一般化累加強度式を用いて計算すると、計算値が大きくなる場合が生じた。終局曲げ耐力の計算値に対する実験値の比（実／計）は0.82~1.52、平均値1.00、標準偏差0.16であった。計算値が実験値より大きくなる傾向は軸力比 $n=0.3$ の試験体で顕著であった。これに対して、ファイバーモデルによる平面保持を仮定した曲げ解析により終局曲げ耐力を求める計算方法を提案した。曲げ解析においては、第2章で求めたコンクリートの応力度－ひずみ度モデルを用いた。曲げ解析によると、終局曲げ耐力の

計算値に対する実験値の比（実／計）は 0.95～1.86（平均値 1.18，標準偏差 0.22）となった。全試験体を対象とした計算精度によると，一般化累加強度式の方が精度よい結果となったが，一般化累加強度式では計算値が実験値より大きくなる場合が多い。したがって，本論文では，終局曲げ耐力の計算においてコンクリートの応力状態および鉄骨，主筋のひずみ状況を適切に評価できる曲げ解析を用いることを提案した。

第4章 セン断破壊性状

本章では，SRC 柱のせん断破壊性状について示した。高強度のコンクリートおよび鉄骨を用いると，最大せん断耐力は増大した。帯筋を高強度化すると最大せん断耐力は増大したが，帯筋量 $P_w \cdot w_{\sigma y}$ の増加に見合ったせん断耐力の増大は得られなかった。すなわち，帯筋の降伏点強度が大きくなるに従い，最大耐力時の帯筋の実応力度（ひずみ値から求めた帯筋の引張応力度）は低下する傾向が認められた。高強度材料を用いた SRC 柱の終局せん断耐力を日本建築学会 SRC 規準式を用いて計算した結果，計算値に対する実験値の比（実／計）は 0.87～1.76（平均値 1.23，標準偏差 0.23）となった。帯筋量が大きくなるに従い，計算値に対する実験値の比（実／計）は小さくなった。高強度材料を用いた SRC 柱の終局せん断耐力を計算するために，塑性理論に基づく計算式を導き，精度を検証した。せん断抵抗機構として，RC 部分のトラス機構とアーチ機構に加え，鉄骨により分断されたコンクリート部分のアーチ機構を単純累加した。計算値に対する実験値の比（実／計）は 0.90～1.19（平均値 1.07，標準偏差 0.079）となり，SRC 規準式より計算精度が向上することを示した。

第5章 復元力特性

本章では，SRC 柱の弾性剛性，ひび割れ荷重，降伏時部材角，限界部材角および除荷時剛性等の評価法を示し，また，3 章，4 章における終局耐力の検討結果をあわせて，SRC 柱の復元力特性モデルを提案した。弾性剛性，曲げひび割れ発生荷重およびせん断発生荷重は，既往の計算式と実験値の対応を示した。降伏時部材角は，菅野式および山口市による剛性低下率を RC 部分に適用し，鉄骨部分は弾性剛性のままとし，両者を加えた降伏時剛性と終局耐力計算値の交点の部材角として求めた。弾性剛性，ひび割れ荷重，降伏時部材角はいずれもばらつきが大きい，平均値でみると実験値とよく対応していることが明らかとなった。限界部材角は，最大耐力の 80% に耐力低下した時の部材角と定義し，軸力比および $P_w \cdot w_{\sigma y} / \sigma_B$ を変数とする下限式で計算できることを示した。また，同一変位振幅での繰り返しによるせん断力低下率の実験値と計算値を比較し，安全側に計算できることを示した。除荷時の剛性および残留部材角における接線剛性を求める計算式を提案した。これらの値を用いた復元力特性モデルを提案し，実験から得られた荷重－変位曲線と対応することを示した。

第6章 結論

本章では，以上の検討結果をまとめ，本論文の結論を述べた。

(1) 中心圧縮耐力は，コンクリート，鉄骨および主筋を高強度化することにより増大するが，帯筋比と帯筋の降伏点強度の積 $P_w \cdot w_{\sigma y}$ を大きくしてもあまり増大しない。

(2) 終局曲げ耐力および終局せん断耐力は，コンクリート，鉄骨および主筋を高強度化することにより増大する。帯筋の降伏点強度を大きくすると終局せん断耐力は増大するが，降伏点強度の増大に見合った終局せん断耐力の増大は期待できない。

(3) 日本建築学会 SRC 規準式による中心圧縮耐力の計算値は実験値とよく一致した。終局曲げ耐力の計算値は、実験値より大きく計算される場合がある。終局せん断耐力の計算値は、実験値より小さく計算されるが、 $P_w \cdot w \sigma_y$ が大きくなるに従い、計算値に対する実験値の比（実／計）は小さくなる傾向がみられた。

(4) 終局曲げ耐力はファイバーモデルによる曲げ解析により、終局せん断耐力は塑性理論式により精度よく計算できる。曲げ解析においては、コンクリートをかぶりコンクリート部分、帯筋で拘束された部分および十字形鉄骨で拘束された部分の3つの領域に分け、それぞれの圧縮応力度－ひずみ度関係を設定して用いた。

(5) 初期剛性、ひび割れ発生荷重、降伏時部材角、限界部材角および除荷時剛性等を設定して復元力特性モデルを提案し、実験結果と対応することを示した。

論文審査結果の要旨

コンクリート系建物をより高層化して土地資源の高度利用を図るため、また、大スパン化あるいは柱梁部材の断面を縮小化して建物に魅力ある空間を提供するため、高強度材料を用いたコンクリート系部材の構造設計法を確立することは重要な課題である。

本論文は、高強度のコンクリート（設計基準強度 63 N/mm^2 ）、鉄骨（引張強度 590 N/mm^2 ）、主筋（降伏点強度 490 N/mm^2 ）および帯筋（降伏点強度 1275 N/mm^2 ）を用いた鉄骨鉄筋コンクリート構造柱（以下、SRC 柱）の力学性状を実験的に検討し、SRC 柱の力学性状がどのような影響を受けるかを明確にしたものである。また、剛性、ひび割れ荷重、終局耐力および変形性能などの計算法を検討するとともに、復元力特性のモデル化を提案し、実験結果と比較して検証したものである。全編 6 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、研究の背景と目的、既往の研究と本研究の差異について述べている。

第 2 章では、SRC 柱の中心圧縮性状におよぼす影響について示している。終局圧縮耐力は、鉄骨、主筋および低減係数を考慮したコンクリートの各耐力を累加して計算できることを明らかにしている。さらに、拘束状態に応じて、コンクリート部分を無拘束部（かぶりコンクリート）、帯筋拘束部および鉄骨拘束部の 3 つの領域に分け、コンクリートの圧縮応力度－ひずみ度曲線モデルを提案している。このモデルは有用な成果であり、第 3 章の平面保持を仮定した曲げ解析に用いている。

第 3 章では、SRC 柱の曲げ破壊性状におよぼす影響について示している。SRC 柱の終局曲げ耐力は、日本建築学会 SRC 規準に準拠した一般化累加強度式を用いて計算すると、計算値が大きくなり、危険側の計算結果になる場合が生じることを明らかにしている。このため、第 2 章での応力度－ひずみ度曲線を用い、平面保持を仮定した終局曲げ耐力を求める計算方法を提案している。本解析法によると、SRC 柱の終局曲げ耐力は精度良く安全側に計算できることを明らかにしている。

第 4 章では、SRC 柱のせん断破壊性状におよぼす影響について示している。帯筋を高強度化すると最大せん断耐力は増大するが、高強度化に見合ったせん断耐力の増大は得られないことを示している。また、日本建築学会 SRC 規準式を用いて終局せん断耐力を計算した結果、帯筋比と帯筋の降伏点強度の積が大きくなるに従い、計算値に対する実験値の比は小さくなり、危険側の計算結果に移行することを示している。そこで、RC 部分のトラス機構とアーチ機構、鉄骨により分断される無筋コンクリート部分のアーチ機構、の各せん断耐力を累加する計算式を導き、計算精度が向上することを明かにしている。

第 5 章では、SRC 柱の弾性剛性、ひび割れ荷重、降伏時部材角、限界部材角および除荷時剛性等の計算法を示している。また、第 3 章、4 章において提案している終局耐力の計算法と併せて、SRC 柱の復元力特性のモデル化を提案し、実験から得られた荷重－変位曲線とよく対応することを示している。

第 6 章は結論である。

以上、本論文は高強度材料を用いた SRC 柱の力学性状を検討し、従来の計算法で生じる不具合を改善する計算法を提案したものであり、高強度材料を用いた SRC 造建物の構造設計法の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。